

AF 2

SM 10/532,545



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 02 319 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**C 02 F 1/22**  
C 02 F 1/44  
C 02 F 9/00  
B 64 D 11/00

②1 Aktenzeichen: P 43 02 319.3  
②2 Anmeldetag: 28. 1. 93  
④3 Offenlegungstag: 25. 11. 93

DE 43 02 319 A 1

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1  
21.05.92 DE 42 16 742.6

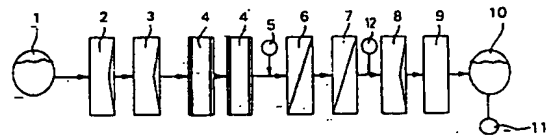
⑦1 Anmelder:  
Deutsche Aerospace Airbus GmbH, 21129 Hamburg,  
DE

⑦2 Erfinder:  
Sekoulov, Ivan, Prof. Dr.-Ing., 2000 Hamburg, DE;  
Müller, Mario, Dr.-Ing., 2057 Reinbek, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Anordnung zur Aufbereitung von Abwassern, insbesondere in Flugzeugen

⑤7 Im Flugzeug ist es ein Erfordernis, mit begrenzten Mengen an Wasser auszukommen und somit schon gebrauchtes Wasser über eine Wasseraufbereitung wieder dem Wasserkreislauf zuzuführen. Ein gattungsgemäßes Verfahren ist derart durchzuführen, daß eine Wasseraufbereitung sicherheitstechnisch unbedenklich, gewichts- und raumsparend und mit minimierter Energiezufuhr erfolgt und die Quelle des aufbereiteten Wassers den entsprechenden Vorschriften von Trink- bzw. Brauchwasser entspricht. Diese Aufgabe ist bei einem gattungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, daß das Abwasser üblicherweise bekannte Reinigungsstufen und als wesentliche Hauptreinigung zumindest eine Gefrierkonzentrationsstufe (4, 4') durchläuft. Insbesondere vorteilhaft ist, daß die Gefrierkonzentrationsstufe (4, 4') als eine universelle Reinigungsstufe die Möglichkeit bietet, beliebig zusammengesetztes Abwasser in einer Verfahrensanordnung mit weiteren, üblicherweise bekannten Reinigungsstufen bis zur Trinkwasserqualität aufzubereiten, wobei partikuläre und gelöste Stoffe aus der Schmutzfracht abgetrennt werden.



DE 43 02 319 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 09. 93 308 047/432

9/52

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Aufbereitung von Abwassern, vorzugsweise in Flugzeugen, in der das Abwasser üblicherweise bekannte Reinigungsstufen und zumindest die folgenden Einheiten wenigstens einmal durchläuft: eine Pumpe, eine mechanische Filterstufe, eine Umkehrosmosestufe, eine Aktivkohlefilterstufe und eine Desinfektionsstufe.

Im Flugzeug ist es im Zuge der ständigen Suche nach Verbesserung des Komforts der Fluggäste einerseits und der begrenzten Ladekapazität von Flugzeugen andererseits ein Erfordernis, mit einer begrenzten Menge an Trink- und Brauchwasser während des Fluges auszukommen. So sind bei immer steigenden Komfortbedürfnissen, beispielsweise Duschen und Waschen während des Fluges bei Langstreckenflügen, die vorhandenen Wassermengen optimal zu nutzen. Bei Kurzstreckenflügen zur Nutzung des Flugzeuges als Massentransportmittel erfordert ein mögliches Maximum an Beladung (Fluggäste oder Fracht) eine Reduzierung der mitgeführten Wassermengen bis zu einem Minimum.

Mit dem bekannten Stand der Technik sind Lösungen bekannt, die zumindest teilweise benutztes Wasser zur Wiederverwendung aufbereiten. In der US-Zeitschrift "Transactions of the ASME", Journal of Engineering for Industry, Volume 97, No. 1, Februar 1975, Seiten 224—227; A.L. Ingelfinger et al.: "Integrated water and waste management system for future spacecraft" wird eine Lösung für die Raumfahrt vorgeschlagen, die das Problem der Abwasseraufbereitung mittels einem Verfahren, welches im wesentlichen auf der Verdampfung und katalytischen Oxidation der Wasserbestandteile mit Hilfe von Hitze löst, die durch die Verwendung von Radioisotopen gewonnen wird. Dieser Lösung haftet der Nachteil an, daß sie aus Sicherheitsgründen aufgrund der auftretenden Strahlung in einem Passagierflugzeug nicht vertretbar ist und der benötigte hohe Energiebedarf dieser Einrichtung zur Abwasseraufbereitung mit einer anderen Energieform als mit der vorgeschlagenen Atomenergie nicht erreicht wird. Eine weitere bekannte Lösung, die DE-PS 37 15 759, sieht in einer Anordnung zur Wasserversorgung an Bord eines Flugzeuges eine Einrichtung zur Aufbereitung von Abwassern vor, mit der zur Reinigung des Abwassers bis zum Erreichen von Trinkwasserqualität folgende Einheiten durchlaufen werden: ein mechanischer Filter, eine Pumpe, ein Kohlefilter bekannter Art mit eingelagerter Aktivkohle, eine Ozon-Stufe, eine Umkehrosmosestufe und eine Desinfektionsstufe. Dieser Einrichtung haftet der Nachteil an, daß für eine hohe Reinigungswirkung in der Ozon-Stufe sehr lange Kontaktzeiten des zu behandelnden Abwassers mit dem Ozon eingehalten werden müssen und ein großer Raumbedarf infolge eines großen Behandlungsvolumens des Abwassers bei Einhaltung der geforderten Durchsatzleistungen notwendig ist.

Demgemäß liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes Verfahren derart durchzuführen, daß eine Wasseraufbereitung sicherheitstechnisch unbedenklich, gewichts- und raumsparend und mit minimierter Energiezufuhr erfolgt und die Qualität des aufbereiteten Wassers den entsprechenden Vorschriften von Trink- bzw. Brauchwasser entspricht.

Diese Aufgabe ist bei einem gattungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, daß das Abwasser als wesentliche Hauptreinigung zumindest eine Gefrierkonzentrationsstufe durchläuft.

Insbesondere vorteilhaft ist, daß die Gefrierkonzentrationsstufe als eine universelle Reinigungsstufe die Möglichkeit bietet, beliebig zusammengesetztes Abwasser in einer Verfahrensanordnung mit weiteren, üblicherweise bekannten Reinigungsstufen bis zur Trinkwasserqualität aufzubereiten, wobei partikuläre und gelöste Stoffe aus der Schmutzfracht abgetrennt werden.

Vorteilhaft ist weiterhin, daß die Gefrierkonzentrationsstufe sicherheitstechnisch völlig unbedenklich arbeitet.

Weiterbildungen und zweckmäßige Ausgestaltungen ergeben sich aus den Ansprüchen 2—14.

Aus Anspruch 5 ergibt sich der Vorteil, daß für die nach der Gefrierkonzentrationsstufe folgende Membrantrennstufe ein starkes Absinken der Reinigungsleistung vermieden wird. Membranschädigende Substanzen, wie Säuren, freies Chlor und Sauerstoff, gelangen nicht bis zur Membrantrennstufe, die Standzeiten werden verlängert und die Funktionstüchtigkeit bleibt erhalten.

Aus Anspruch 7 ergibt sich der Vorteil, daß ein Rieselfilmreaktor mit einem geringen technischen Aufwand und geringem Raumbedarf bei guten Reinigungsleistungen und ausreichenden Durchsatzleistungen eingesetzt werden kann.

Aus Anspruch 10 ergibt sich der Vorteil, daß mit einer Kristallisationswalze gute Reinigungsleistungen und ein kontinuierlicher Betrieb realisierbar ist.

Aus Anspruch 11 ergibt sich der Vorteil, daß infolge kleiner Kristallwachstumsgeschwindigkeiten im Kristallsuspensionsreaktor eine sehr hohe Kristallreinheit und damit hohe Reinigungsleistungen erreichbar sind.

Aus Anspruch 12 ist insbesondere vorteilhaft, daß für die Gefrierkonzentrationsstufe in der Verfahrensdurchführung für das Auffrieren der Kristallschicht unter Ausnutzung der natürlich vorhandenen Kälte in Flughöhe nur ein sehr geringer Energiebedarf notwendig ist.

Aus Anspruch 9 oder 13 ist insbesondere vorteilhaft, daß für die Gefrierkonzentrationsstufe in der Verfahrensdurchführung für das Abschmelzen der Eisschicht im Flugzeug schon vorhandene Wärme genutzt wird und somit der Energiebedarf wesentlich reduziert wird.

Die Erfindung wird nachstehend beschrieben und anhand der Fig. 1 — 9 näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine erste Ausgestaltungsform einer Abwasseraufbereitungsanordnung,

Fig. 2 eine Tabelle der erzielten Parameter der ersten Ausgestaltungsform,

Fig. 3 eine zweite Ausgestaltungsform einer Abwasseraufbereitungsanordnung,

Fig. 4 eine Tabelle der erzielten Parameter der zweiten Ausgestaltungsform,

Fig. 5 eine dritte Ausgestaltungsform einer Abwasseraufbereitungsanordnung,

Fig. 6 eine Tabelle der erzielten Parameter der dritten Ausgestaltungsform,

Fig. 7 eine vierte Ausgestaltungsform einer Abwasseraufbereitungsanordnung,

Fig. 8 eine Tabelle der erzielten Parameter der vierten Ausgestaltungsform und

Fig. 9 eine schematische Darstellung einer Gefrierkonzentrationsstufe in Form eines Rieselfilmreaktors.

In den Fig. 1 bis 8 sind Reinigungsstufen zur Aufbereitung von Abwasser in verschiedenen Kombinationen und die damit erzielten Parameter gezeigt, wobei eine Gefrierkonzentrationsstufe als Hauptreinigungsstufe die zentrale Rolle spielt. Das Verfahren der Gefrierkon-

zentration ist ein in der Grundstoff- und Lebensmittelindustrie an sich bekanntes Verfahren und wird zur Aufkonzentration von Lösungen, beispielsweise zur Gewinnung von Geschmacksstoffen, angewendet. Als ein universelles Reinigungsverfahren bietet das Gefrierkonzentrationsverfahren die Möglichkeit, beliebig zusammengesetztes Abwasser in einer Verfahrensanordnung mit weiteren, üblicherweise bekannten Reinigungsstufen bis zur Trinkwasserqualität aufzubereiten, wobei partikuläre und gelöste Stoffe aus der Schmutzfracht abgetrennt werden. Es wird ein thermisches Trennverfahren realisiert, welches auf einer Phasenumwandlung flüssig/fest beruht. Durch Abkühlung wird das Abwasser, im folgenden Lösung genannt, in einen übersättigten Zustand versetzt. Das führt zu einer Phasenumwandlung, bei der Eiskristalle ausfrieren. In den Eiskristallen können nahezu keine Verunreinigungen verbleiben, da die Fremdmoleküle aufgrund ihrer Größe und ihrer Form nicht zur Mischkristallbildung im Eiskristall geeignet sind. So werden praktisch unspezifisch alle im Wasser gelösten und partikulären Stoffe mit der fortschreitenden Eisfront ausgeschieden. Allenfalls in sehr niedrigen Konzentrationen, als Punktdefekte im Kristallgitter, können beispielsweise Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), Ammoniumfluorid ( $\text{NH}_4$ ) oder Fluorwasserstoff ( $\text{HF}$ ) eingeschlossen sein.

Im folgenden werden vier Ausführungsformen einer Wasseraufbereitungsanordnung in einer schematischen Darstellung gezeigt. Die Anzahl und Kombination der Reinigungsstufen, wie eine mechanische Filterstufe, eine Gefrierkonzentrationsstufe, eine Mikrofiltrations- und Ultrafiltrationsstufe, eine Umkehrosmostufe, eine Aktivkohlefilterstufe und eine UV-Bestrahlungsstufe, bestimmen die erreichbare Qualität des aufbereiteten Wassers. Zum Bewegen des Wassers in den Filtrationsstufen und der Umkehrosmostufe sind vorzugsweise Pumpen eingesetzt, die aber in den Fig. nicht dargestellt sind. Zur Feststellung der Wirksamkeit der jeweiligen Reinigungsstufen sind Leistungsdaten, wie die Salzkonzentration durch die ionische Leitfähigkeit (Leitf. in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), die Anreicherung von organischen Inhaltsstoffen durch die Summenparameter TOC (total organic carbon — der gesamte Kohlenstoffgehalt in  $\text{mgC}/\text{l}$ ) und CSB (chemischer Sauerstoffbedarf in  $\text{mg}/\text{l}$ ), sowie der Ammoniumgehalt  $\text{NH}_4\text{-N}$ , bestimmt und dargestellt. Angegeben sind weiterhin der notwendige Raumbedarf (Raum in  $\text{m}^3$ ) und das Gewicht (Gew. in  $\text{kg}$ ) der einzelnen Reinigungsstufen. Diese Leistungsdaten sind in Tabellenform im Zusammenhang mit der jeweiligen Ausführungsform in die Fig. 1—8 aufgenommen. Zur Erläuterung des Tabellenkopfes bedeuten folgende Abkürzungen:

Abw. — Abwasser

Filt. — mechanische Filterstufe

GK 1 — erste Gefrierkonzentrationsstufe

GK 2 — zweite Gefrierkonzentrationsstufe

M/UF — Mikrofiltrationsstufe bzw. Ultrafiltrationsstufe

RO 1 — erste Umkehrosmostufe

RO 2 — zweite Umkehrosmostufe

AK — Aktivkohlefilterstufe

UV — UV-Bestrahlungsstufe.

Die Wirkungen der einzelnen Reinigungsstufen sind in der Wasseraufbereitung an sich bekannt, sollen hier jedoch kurz erläutert werden.

Die mechanische Filterstufe dient im wesentlichen

zur Abtrennung partikulärer Stoffe aus der Lösung. Siebfilter dienen zur Abtrennung grober Artikel und mit einem Spaltfilter können Partikel in einer Größenordnung von 15 bis 20  $\mu\text{m}$  herausgefiltert werden. Sie ist Bestandteil aller Ausgestaltungsformen der Wasseraufbereitungsanordnung.

In der Gefrierkonzentrationsstufe werden partikuläre und gelöste Stoffe ausgeschieden. Die mögliche Reinigungsleistung hängt im wesentlichen von der Kristallwachstumsgeschwindigkeit der Eiskristalle ab. Eine mögliche technische Ausgestaltungsform dieser Gefrierkonzentrationsstufe ist in der Fig. 9 gezeigt und wird in der Erläuterung dieser Figur beschrieben.

Die Mikrofiltrationsstufe kann partikuläre Stoffe bis zu einem Mikrometer ausfiltern, ist aber ungeeignet für den Rückhalt gelöster Stoffe.

Die Ultrafiltrationsstufe kann Keime und gelöste Stoffe zurückhalten. Sie entspricht in ihrem Trennprinzip dem der Mikrofiltration, besitzt aber eine niedrigere Trenngrenze. Die Mikro- und Ultrafiltrationsstufen sind unverzichtbare Verfahrensstufen, um partikuläre Reststoffe von der Umkehrosmostufe und der Aktivkohlefilterstufe zurückzuhalten.

In der Umkehrosmostufe kommt ein sehr reines Wasser lieferndes Membrantrennverfahren zur Anwendung, in der die Lösung mit einer halbdurchlässigen Membran in Kontakt gebracht wird und sie mit Druck, der größer als der osmotische Druck ist, durch die Membran gedrückt wird. Die Membran ist undurchlässig für Bakterien und verschiedene organische Stoffe und kann einen hohen Reinigungsgrad erzielen, der aber von der Konzentration der Schadstoffe und vom Lösungsmittel sehr empfindlich abhängt. Hohe Schadstoffkonzentrationen bedeuten einen hohen osmotischen Druck und es besteht die Gefahr einer Konzentrationspolarisation vor der Membran. Weitere, die Membran schädigende Stoffe, wie Säuren, freies Chlor und Sauerstoff, organische Lösungsmittel, Bakterien und allgemeine Ablagerungen dürfen nur in geringen Konzentrationen auf die Membran treffen. Diese niedrige Verunreinigungskonzentration ist in den vor der Umkehrosmostufe zu durchlaufenden Reinigungsstufen zu realisieren, wenn ein ausreichendes Rückhaltevermögen für die in den entsprechenden Verordnungen genannten chemischen Stoffe erreicht werden soll.

In der Aktivkohlefilterstufe werden gelöste organische Stoffe auf Aktivkohle adsorbiert. Als Nachreinigung des Ablaufs aus der Gefrierkonzentrationsstufe bzw. Umkehrosmostufe mit nur noch einer geringen Schadstoffbelastung für die nachfolgende Stufe wird eine hohe Reinigungsleistung erreicht.

In der UV-Bestrahlungsstufe wird die aufbereitete Lösung desinfiziert und in einfacher Weise durch UV-Licht in hygienisch befriedigender Qualität gereinigt. Die meist vorkommenden Mikroorganismen werden bei einer kurzen Kontaktzeit mit UV-Licht abgetötet.

Die technisch einfach gestaltete Aktivkohlefilterstufe und die UV-Bestrahlungsstufe als Sicherheitsstufe sind Bestandteil aller Ausgestaltungsformen der Wasseraufbereitungsanordnung.

In Fig. 1 ist eine erste Ausgestaltungsform der Wasseraufbereitungsanordnung und in Fig. 2 die damit erreichten Leistungsdaten dargestellt. Aus einem Abwassertank 1 wird die aufzubereitende Lösung entnommen und durchläuft dabei nacheinander folgende Einheiten: die mechanische Filterstufe mit einem Siebfilter 2 und einem Spaltfilter 3, eine erste Gefrierkonzentrationsstufe 4 und eine zweite Gefrierkonzentrationsstufe 4', eine

Mikro- und Ultrafiltrationsstufe 6, eine Umkehrosmostufe 7, eine Aktivkohlefilterstufe 8 und eine UV-Bestrahlungsstufe 9. Nach den Gefrierkonzentrationsstufen 4 und 4' erfolgt ein Ansäuern 5 der Lösung, um den pH-Wert in einen neutralen Bereich zu verschieben. Die aufbereitete und im Wassertank 10 gesammelte Lösung ist mineralstofffrei und wird über eine Mineralienzugabe 11 mit für Trinkwasser vorgeschriebenen Mineralien angereichert. Zum Bewegen der Lösung in den Filtrationsstufen und der Umkehrosmostufe sind vorzugsweise Pumpen notwendig, die aber nicht in der Fig. 1 dargestellt sind. Außerdem erfolgt eine Störfallerkennung 12 in Form einer Messung der Leitfähigkeit der aufbereiteten Lösung, um den Zustand der gereinigten Lösung zu kontrollieren.

Entscheidend in dieser Anordnung ist die zentrale Rolle der Gefrierkonzentrationsstufen 4 und 4'. Für den Zulauf zur Gefrierkonzentrationsstufe 4 ist eine mechanische Filtration mit dem Siebfilter 2 und mit dem Spaltfilter 3 ausreichend. Kleinere Partikel mit einer Größe von 15–20 µm werden zurückgehalten. Der zweistufigen Gefrierkonzentrationsstufe 4 und 4' als Hauptreinigungsstufen sind Mikro- und Ultrafiltrationsstufe 6 nachgeschaltet. Damit werden feste und kolloidale Restbestandteile von den nachfolgenden Reinigungsstufen ferngehalten. Die Umkehrosmostufe 7 ist als Sicherheitsstufe der Hauptreinigungsstufe nachgeschaltet. Aufgrund der Behandlung der Lösung in der Hauptreinigungsstufe 4 und 4' und der Mikro- und Ultrafiltrationsstufe 6 wird ein wesentliches Absinken der Reinigungsleistung der Umkehrosmostufe 7 vermieden. Wie aus den Leistungsdaten der Tabelle in Fig. 2 zu entnehmen ist, wird mit der Kombination von zweistufigen Gefrierkonzentrationsstufe 4 und 4' und der einstufigen Umkehrosmostufe 7 nach der UV-Bestrahlungsstufe 9 eine weitestgehende Trinkwasserqualität des aufbereiteten Wassers erreicht.

In Fig. 3 ist eine zweite Ausgestaltungsform einer Wasseraufbereitungsanordnung mit einer anderen Kombination der Reinigungsstufen ersichtlich. Aus dem Abwassertank 1 wird die Lösung entnommen, beispielsweise mittels hier nicht dargestellter Pumpen transportiert und durchläuft dabei nacheinander folgende Einheiten: die mechanische Filterstufe mit dem Siebfilter 2 und dem Spaltfilter 3, die erste Gefrierkonzentrationsstufe 4 und die zweite Gefrierkonzentrationsstufe 4', die Mikro- und Ultrafiltrationsstufe 6, die Aktivkohlefilterstufe 8 und die UV-Bestrahlungsstufe 9. Nach den Gefrierkonzentrationsstufen 4 und 4' erfolgt ein Ansäuern 5 der Lösung. Die aufbereitete und im Wassertank 10 gesammelte Lösung ist mineralstofffrei und wird über eine Mineralienzugabe 11 mit Mineralien angereichert. Außerdem erfolgt eine Störfallerkennung 12 in Form der Leitfähigkeitsmessung des aufbereiteten Wassers.

In dieser Anordnung fehlt die Umkehrosmostufe 7 als Sicherheitsstufe, die der Gefrierkonzentrationsstufe 4 bzw. 4' nachgeschaltet wäre. Aus Fig. 4 sind Parameter zu entnehmen, die zeigen, daß trotz Fehlen der Umkehrosmostufe 7 nach der UV-Bestrahlungsstufe 9 nahezu Trinkwasserqualität der aufbereiteten Lösung und somit gutes Brauchwasser erreicht wird.

In Fig. 5 ist eine dritte Ausgestaltungsform einer Wasseraufbereitungsanordnung mit einer weiteren Kombination der Reinigungsstufen ersichtlich.

Aus dem Abwassertank 1 wird die Lösung entnommen, beispielsweise mittels hier nicht dargestellter Pumpen bewegt und durchläuft dabei nacheinander folgende Einheiten: die mechanische Filterstufe mit dem Siebfilter

ter 2 und dem Spaltfilter 3, die Gefrierkonzentrationsstufe 4, die Mikro- und Ultrafiltrationsstufe 6, eine erste Umkehrosmostufe 7 und eine zweite Umkehrosmostufe 7', die Aktivkohlefilterstufe 8 und die UV-Bestrahlungsstufe 9. Nach der Gefrierkonzentrationsstufe 4 erfolgt ein Ansäuern 5 der Lösung.

Die aufbereitete und im Wassertank 10 gesammelte Lösung ist mineralstofffrei und wird über eine Mineralienzugabe 11 mit Mineralien angereichert. Außerdem erfolgt eine Störfallerkennung 12 in Form einer Leitfähigkeitsmessung der aufbereiteten Lösung. In dieser dritten Ausgestaltungsform ist als Kombination eine einstufige Gefrierkonzentrationsstufe und eine zweistufige Umkehrosmostufe realisiert.

Aus der Tabelle in Fig. 6 ist zu entnehmen, daß im wesentlichen gutes Brauchwasser mit nahezu Trinkwasserqualität erhalten wurde, welches vorzugsweise für Spül- und Waschw Zwecke einsetzbar ist, wie aus den Leistungsdaten nach der UV-Bestrahlungsstufe 9 hervorgeht. Weiterhin ist am Parameter Gewicht zu erkennen, daß mit einer Gefrierkonzentrationsstufe und zweier Umkehrosmostufen das Gesamtgewicht und das Raumvolumen dieser Ausgestaltungsform einer Wasseraufbereitungsanordnung minimiert ist.

In Fig. 7 ist eine vierte Ausgestaltungsform einer Wasseraufbereitungsanordnung dargestellt.

Aus dem Abwassertank 1 wird die Lösung entnommen, beispielsweise mittels hier nicht dargestellter Pumpen transportiert und durchläuft dabei nacheinander folgende Einheiten: die mechanische Filterstufe mit dem Siebfilter 2 und dem Spaltfilter 3, die Gefrierkonzentrationsstufe 4, die Mikro- und Ultrafiltrationsstufe 6, die Umkehrosmostufe 7, die Aktivkohlefilterstufe 8 und die UV-Bestrahlungsstufe 9. Nach der Gefrierkonzentrationsstufe 4 erfolgt ein Ansäuern 5 der Lösung. Die aufbereitete und im Wassertank 10 gesammelte Lösung ist mineralstofffrei und wird über eine Mineralienzugabe 11 mit Mineralien angereichert. Außerdem erfolgt eine Störfallerkennung 12 in Form einer Leitfähigkeitsmessung der aufbereiteten Lösung.

In dieser vierten Ausgestaltungsform ist als Kombination eine einstufige Gefrierkonzentrationsstufe und eine einstufige Umkehrosmostufe realisiert. Aus den Leistungsdaten nach der UV-Bestrahlungsstufe 9, ersichtlich in der Tabelle in Fig. 8, ist zu entnehmen, daß im wesentlichen gutes Brauchwasser als aufbereitetes Wasser entstanden ist, welches beispielsweise für die Nutzung in Toilettenspülungen einsetzbar ist.

Eine schematische Darstellung einer technischen Realisierungsmöglichkeit der Gefrierkonzentrationsstufe in Form eines Rieselfilmreaktors ist in Fig. 9 dargestellt. Der Rieselfilmreaktor ist ein Kristallschichtreaktor, bei dem zusammenhängende Kristallschichten erzeugt werden. Er ist einfach konstruiert, ohne bewegliche Teile und kommt ohne aufwendige Trennsäulen aus.

In einen Wasserbehälter 13 wird aus einem Zulauf mit der mechanischen Filterstufe 20, bestehend aus Siebfilter 2 und Spaltfilter 3, vorgereinigte Lösung geleitet. In einem senkrecht stehenden Doppelwandbehälter 15 wird mittels einer Pumpe 14 über einen entsprechend gestalteten Überlauf am oberen Ende die vorgereinigte Lösung gebracht. An der mit Kühlaggregaten 18, 19 gekühlten Wand 17 wächst eine Kristallschicht 16 unter dem herabfallenden Rieselfilm. Das Auffrieren der Kristallschicht 16 erfolgt unter Ausnutzung der in Reiselhöhe vorhandenen Kälte mittels der als Außenhaut-Wärmetauscher ausgebildeten Kühlaggregaten 18, 19. Das gereinigte Wasser liegt in Form der aufgefrorenen

Kristallschicht 16 vor, in dem Wasserbehälter 13 werden die überschüssige Lösung und ausgeschiedene Verunreinigungen gesammelt und mehrmals in den Umlauf gebracht. Dabei tritt eine Aufkonzentration der Lösung ein, die gleichzeitig ein Absinken der Reinigungsleistung verursacht. Die Wasseraufbereitung mit einem Rieselfilmreaktor ist in einem diskontinuierlichen Betrieb realisierbar, d. h. nach einem genügendem Aufwachsen der Kristallschicht 16 wird eine Abschmelzphase eingeleitet. Die dafür benötigte Abschmelzenergie kann mit an sich bekannten Heizaggregaten und Methoden zur Wärmeerzeugung in Flugzeugen, beispielsweise die Nutzung von Zapfluft von den Triebwerken oder Nutzung von elektrischer Energie, bereit gestellt werden. In einer bevorzugten Lösung nutzt man durch einen Mehrkammeraufbau des Doppelmantelbehälters 15 die beim Aufwachsen der Kristallschicht 16 entstehende Kristallisationswärme an einer anderen Wand zum Abschmelzen einer weiteren Eiskristallschicht und die benötigte Abschmelzenergie kann erheblich reduziert werden.

Das von der Kristallschicht abgeschmolzene Wasser wird in einem Ablaufbehälter aufgefangen. Dieser Ablaufbehälter kann der Wasserbehälter 13 selbst sein, wenn nach Ablassen des aufkonzentrierten Abwassers und einer Reinigung der Wasserbehälter 13 keine Verunreinigungen mehr enthält. Eine andere Ausgestaltungsform ist, daß dieser Ablaufbehälter in der Abschmelzphase an Stelle des Wasserbehälters 13 angeordnet ist. Der Wasserbehälter 13 kann auch als ein Behälter für das aufzubereitende Abwasser und ein Behälter für das gereinigte, abgeschmolzene Wasser ausgebildet sein. Reinigungsleistungen bei partikularen Stoffen um 95% und entsprechend der Konzentration der Lösung bei der Leitfähigkeit,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , TOC und CSB von >91% sind mit dem Rieselfilmreaktor erreichbar.

Eine weitere technische Realisierungsform eines Kristallschichtreaktors im diskontinuierlichen Betrieb ist ein Rührwerkskristallisator. In einem Doppelmantelbehälter wird mit einem Rührer eine intensive Bewegung der Lösung erreicht und an den gekühlten Wänden des Innenzylinders gefriert Eis aus der Lösung auf.

Eine kontinuierliche Kristallschichtbildung mit einer weiteren Realisierungsform eines Kristallschichtreaktors ist mit einer Kristallisationswalze erreichbar. Eine kontinuierlich rotierende, gekühlte Walze taucht in die in einem Wasserbehälter aufgefangene Lösung ein. Die sich dabei auf der Walze bildende Eisschicht wird laufend abgeschabt und in einem weiteren Wasserbehälter aufgefangen als gereinigte Lösung.

Bei einer weiteren technischen Realisierungsform, die eine sehr hohe Reinigungsleistung erreicht, werden mit einem Kristallsuspensionsreaktor Kristallkörner in einer Lösung erzeugt. Kristallsuspensionsreaktoren stellen große Kristalloberflächen zur Verfügung, so daß die Kristallwachstumsgeschwindigkeiten sehr klein gehalten werden können und somit Verunreinigungen nicht mit in die Kristalle eingebaut werden. Die gebildeten Kristallkörner werden in einem zweiten Verfahrensschritt mit Trennsäulen abgetrennt. Ein kontinuierlicher Betrieb ist mit dieser technischen Anlage möglich.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Aufbereitung von Abwassern, insbesondere in Flugzeugen, in der das Abwasser üblicherweise bekannte Reinigungsstufen und zumindest die folgenden Einheiten wenigstens einmal durchläuft: eine Pumpe, eine mechanische Filter-

stufe, eine Membrantrennstufe, eine Aktivkohlefilterstufe und eine Desinfektionsstufe, dadurch gekennzeichnet, daß das Abwasser als wesentliche Hauptreinigung zumindest eine Gefrierkonzentrationsstufe (4, 4') durchläuft.

2. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens zur Aufbereitung von Abwassern, wobei diese zumindest aufgebaut ist aus üblicherweise bekannten Einheiten, wie einer Pumpe, einer mechanischen Filterstufe, einer Membrantrennstufe, einer Aktivkohlefilterstufe und einer Desinfektionsstufe, nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Hauptreinigungsstufe innerhalb einer Wasseraufbereitungsanordnung zumindest eine Gefrierkonzentrationsstufe (4, 4') angeordnet ist.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Gefrierkonzentrationsstufe (4, 4') innerhalb der Wasseraufbereitungsanordnung nach der mechanischen Filterstufe (20) angeordnet ist.

4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die mechanische Filterstufe (20) im wesentlichen gebildet ist aus zumindest einem Siebfilter (2) und/oder zumindest einem Spaltfilter (3).

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Gefrierkonzentrationsstufe (4, 4') innerhalb der Wasseraufbereitungsanordnung vor der Membrantrennstufe angeordnet ist.

6. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Membrantrennstufe im wesentlichen gebildet ist aus mindestens einem Ultrafilter (6) und/oder mindestens einer Umkehrosmosestufe (7, 7').

7. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Gefrierkonzentrationsstufe (4, 4') im wesentlichen besteht aus einem Kristallschichtreaktor, beispielsweise einem Rieselfilmreaktor, der aus einem Wasserbehälter (13) über eine Pumpe (14) mit Abwasser gespeist wird und an Kühl- und Heizaggregaten angeschlossen ist und das abgeschmolzene Wasser im gleichen Wasserbehälter (13) oder einem weiteren Wasserbehälter aufgefangen wird.

8. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Rieselfilmreaktor als Doppelwandbehälter (15) ausgebildet ist.

9. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Rieselfilmreaktor als Doppelwandbehälter (15) und gleichzeitig als Mehrkammerbehälter ausgebildet ist, wobei die beim Aufwachsen der Kristallschicht an der gekühlten Wand (17) entstehende Kristallisationswärme an einer weiteren Wand zum Abschmelzen einer weiteren Kristallschicht genutzt wird.

10. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Kristallschichtreaktor als Kristallisationswalze ausgebildet ist, deren mittels Kühlaggregaten gekühlte Walze in einen das Abwasser auffangenden Wasserbehälter eintaucht und die sich kontinuierlich bildende Eiskristallschicht mittels Schabeinrichtungen abgeschabt wird und das abgeschabte Eis, welches mit Hilfe von Heizaggregaten aufgetaut wird, in einem weiteren Wasserbehälter aufgefangen wird.

11. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Gefrierkonzentrationsstufe (4, 4') im wesentlichen besteht aus einem Gefrierkonzentrationsbehälter (13), der aus einem Wasserbehälter (13) über eine Pumpe (14) mit Abwasser gespeist wird und an Kühl- und Heizaggregaten angeschlossen ist und das abgeschmolzene Wasser im gleichen Wasserbehälter (13) oder einem weiteren Wasserbehälter aufgefangen wird.

trationsstufe (4, 4') im wesentlichen besteht aus mindestens einem Kristallsuspensionsreaktor, der aus einem Wasserbehälter mittels einer Pumpe mit Abwasser gespeist wird und an Kühlaggregaten angeschlossen ist, Trennsäulen zur Gewinnung des aufbereiteten Abwassers und einem weiteren Wasserbehälter zur Aufnahme des aufbereiteten Abwassers. 5

12. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlaggregate vorzugsweise als Außenhaut-Wärmetauscher (18, 19), die die Umgebungskälte in Flughöhe des Flugzeuges nutzen, ausgebildet sind. 10

13. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizaggregate zur Erzeugung der Abschmelzenergie vorzugsweise als Wärmetauscher, die die Zapfluft der Triebwerke nutzen, ausgebildet sind. 15

14. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizaggregate zur Erzeugung der Abschmelzenergie mit elektrischer Energie gespeist werden. 20

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

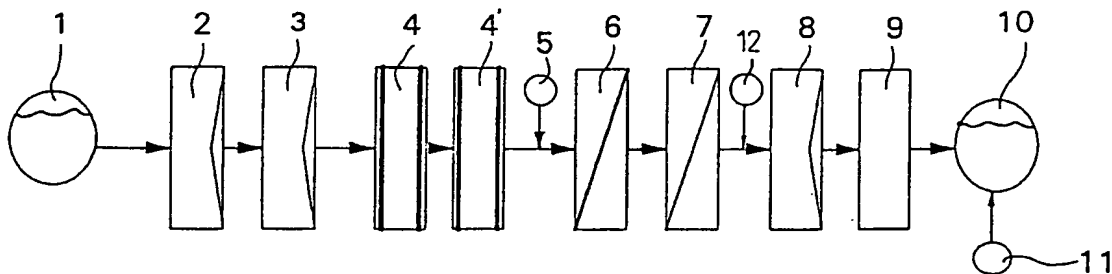


Fig. 1

Parameter	Abw.	Filt.	GK1	GK2	M/UF	RO1	RO2	AK	UV
TOC [mgC/l]	3500	3500	385	4	3	1	-	0	0
CSB [mg/l]	10000	10000	1200	48	46	10	-	2	2
NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	3000	3000	570	80	80	3	-	2	2
Leitf. [ $\mu$ S/cm]	15000	15000	1800	36	36	6	-	6	6
Raum [m <sup>3</sup> ]	-	0,002	0,08	0,08	,004	,004	-	1 <sup>3</sup>	1 <sup>4</sup>
Gew. [kg]	-	6	25	25	3	3	-	2	3

Fig. 2

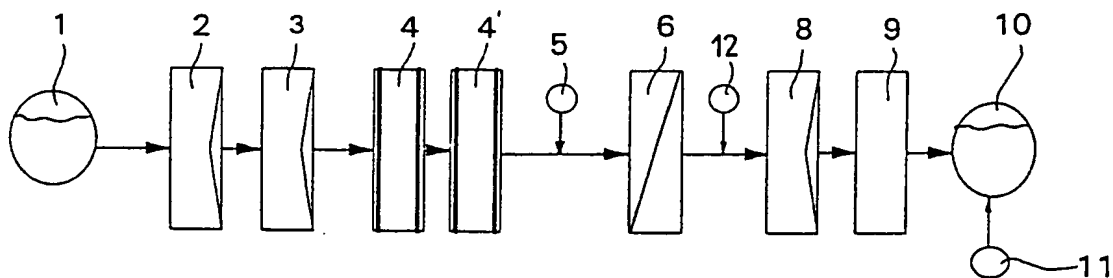


Fig. 3

Parameter	Abw.	Filt.	GK1	GK2	M/UF	RO1	RO2	AK	UV
TOC [mgC/l]	3500	3500	385	4	3	-	-	0	0
CSB [mg/l]	10000	10000	1200	48	46	-	-	30	30
NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	3000	3000	570	80	80	-	-	60	60
Leitf. [ $\mu$ S/cm]	15000	15000	1800	36	36	-	-	36	36
Raum [m <sup>3</sup> ]	-	0,002	0,08	0,08	,004	-	-	1 <sup>3</sup>	1 <sup>4</sup>
Gew. [kg]	-	6	25	25	3	-	-	2	3

Fig. 4

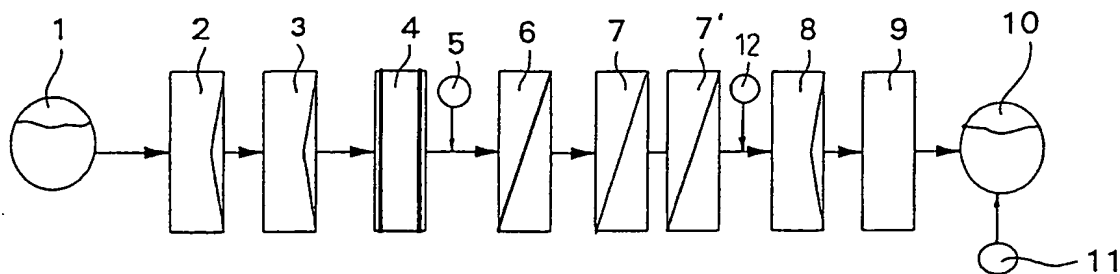


Fig. 5

Parameter	Abw.	Filt.	GK1	GK2	M/UF	RO1	RO2	AK	UV
TOC [mgC/l]	3500	3500	385	-	260	150	45	15	15
CSB [mg/l]	10000	10000	1200	-	1000	220	22	12	12
NH4-N [mg/l]	3000	3000	570	-	570	23	1	1	1
Leitf. [ $\mu$ S/cm]	15000	15000	1800	-	1800	360	36	36	36
Raum [ $m^3$ ]	-	0,002	0,08	-	,004	004	004	1 <sup>-3</sup>	1 <sup>-4</sup>
Gew. [kg]	-	6	25	-	3	3	3	2	3

Fig. 6

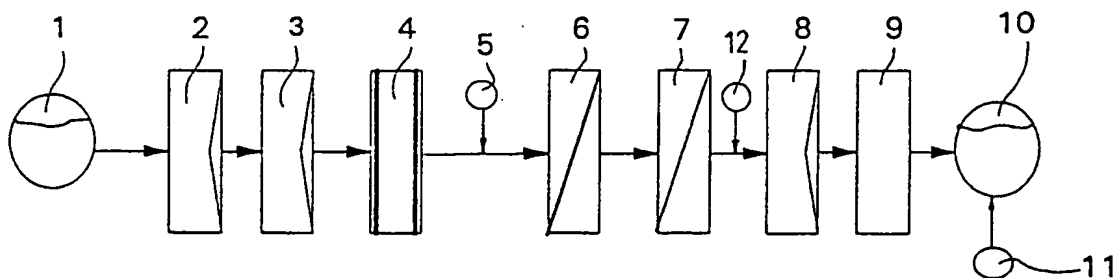


Fig. 7

Parameter	Abw.	Filt.	GK1	GK2	M/UF	RO1	RO2	AK	UV
TOC [mgC/l]	3500	3500	385	-	260	150	-	100	100
CSB [mg/l]	10000	10000	1200	-	1000	220	-	150	150
NH4-N [mg/l]	3000	3000	570	-	570	23	-	16	16
Itf. [ $\mu$ S/cm]	15000	15000	1800	-	1800	360	-	360	360
Raum [ $m^3$ ]	-	0,002	0,08	-	,004	004	-	1 <sup>-3</sup>	1 <sup>-4</sup>
Gew. [kg]	-	6	25	-	3	3	-	2	3

Fig. 8

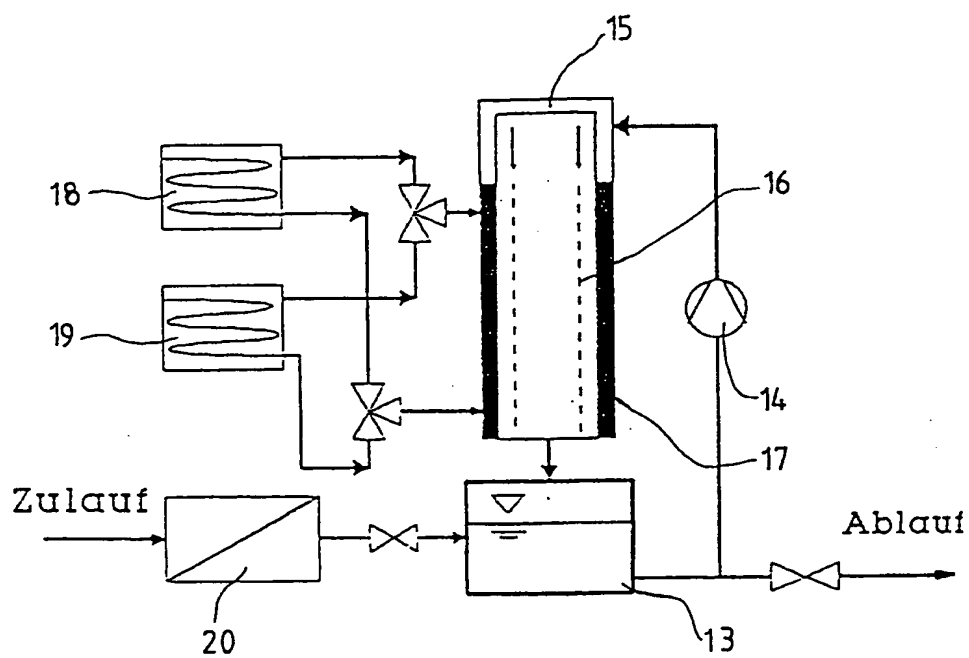


Fig. 9